



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE UN MÓDULO DE ULTRAFILTRACIÓN EN LA OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE A PARTIR DE AGUA DE RECHAZO DE UN SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Oscar Jubert Ascue Alejos

Asesor:

Dr. Juan Taumaturgo Medina Collana

Lima - Perú

2019

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mis padres, Edgar Ascue y Georgina Alejos, quienes con su amor, paciencia y apoyo incondicional me han permitido culminar satisfactoriamente con mi etapa universitaria.

También, a las personas que me acompañaron y aportaron a mi formación profesional y personal.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expreso mi gratitud a Dios por guiar mi camino y por permitirme culminar con
mi objetivo.

En segundo lugar, quiero agradecer a mis padres, quienes son mi motor y motivo para seguir
creciendo profesionalmente.

También, deseo manifestarle mi agradecimiento a mi señorita enamorada, por acompañarme y
brindarme su apoyo en mi formación académica.

Finalmente, quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Juan Medina, quien me brindó
su experiencia, conocimiento y motivación, para la culminación del presente trabajo.

Contenido

| | |
|---------------------------------------|------------|
| DEDICATORIA..... | i |
| AGRADECIMIENTO | ii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | ix |
| RESUMEN..... | 1 |
| CAPÍTULO 1.INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| 1.1. Realidad problemática | 2 |
| 1.2. Formulación del problema..... | 18 |
| 1.3. Objetivos..... | 18 |
| 1.3.1. Objetivo general | 18 |
| 1.3.2. Objetivos específicos..... | 19 |
| 1.4. Hipótesis | 19 |
| 1.4.1. Hipótesis general | 19 |
| 1.4.2. Hipótesis específicas | 19 |
| 1.5. Antecedentes..... | 5 |
| 1.6. Bases Teóricas | 8 |
| 1.6.1. Parámetros de Operación..... | 8 |
| 1.6.2. Parámetros Organolépticos..... | 9 |

| | | |
|-------------------------------------|--|-----------|
| 1.6.3. | Parámetros microbiológicos | 12 |
| 1.6.4. | Ecuaciones básicas | 13 |
| 1.6.5. | Flux..... | 15 |
| 1.7. | Definición de Términos | 15 |
| 1.7.1. | Bacteria..... | 15 |
| 1.7.2. | Efluente | 15 |
| 1.7.3. | Presión Osmótica..... | 16 |
| 1.7.4. | Membranas | 16 |
| 1.7.5. | Peso Molecular | 16 |
| 1.7.6. | Parámetros | 17 |
| 1.7.7. | Ultrafiltración | 17 |
| CAPÍTULO 2.METODOLOGÍA | | 21 |
| 2.1. | Tipo de investigación..... | 21 |
| 2.1.1. | Según el propósito: Aplicada | 21 |
| 2.1.2. | Según el diseño de investigación: Cuasi-experimental | 21 |
| 2.2. | Población y muestra | 21 |
| 2.2.1. | Población | 21 |
| 2.2.2. | Muestra | 21 |
| 2.3. | Materiales e instrumentos | 23 |
| 2.3.1. | Materiales | 23 |

| | | |
|-----------------------------------|--|-----------|
| 2.3.2. | Instrumentos | 23 |
| 2.4. | Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos | 23 |
| 2.4.1. | Método de análisis de datos..... | 24 |
| 2.4.2. | Procedimiento de análisis de datos..... | 28 |
| 2.5. | Procedimiento..... | 32 |
| 2.5.1. | Descripción del módulo de ultrafiltración..... | 32 |
| 2.5.2. | Alimentación del módulo de ultrafiltración | 34 |
| 2.5.3. | Fase experimental..... | 35 |
| CAPÍTULO 3.RESULTADOS..... | | 37 |
| 3.1. | Comportamiento de la membrana de ultrafiltración..... | 37 |
| 3.2. | Producción de agua permeada | 37 |
| 3.3. | Resultado de Parámetros evaluados | 39 |
| 3.3.1. | Organolépticos..... | 40 |
| 3.3.2. | Microbiológicos..... | 47 |
| 3.4. | Resultado de la prueba de hipótesis..... | 50 |
| 3.4.1. | Hipótesis General | 50 |
| 3.4.2. | Hipótesis Especificas..... | 51 |
| 3.5. | Ecuaciones Básicas..... | 64 |
| 3.5.1. | Porcentaje de recuperación..... | 65 |
| 3.5.2. | Porcentaje de separación de sólidos (Turbidez) | 68 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5.3. Balance de masas..... | 70 |
| CAPÍTULO 4.DISCUSIÓN Y RESULTADOS..... | 74 |
| 4.1. Discusión | 74 |
| 4.2. Conclusiones..... | 79 |
| REFERENCIAS..... | 81 |
| ANEXOS..... | 88 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro evaluado. | 27 |
| Tabla 2 Producción de agua permeada según la variación de presiones. | 38 |
| Tabla 3 Parámetros de operación evaluados | 40 |
| Tabla 4 Resumen de procesamiento de casos para la hipótesis general. | 50 |
| Tabla 5 Estadística de fiabilidad de la hipótesis general. | 51 |
| Tabla 6 Prueba de normalidad para el pH..... | 52 |
| Tabla 7 Igualdad de varianzas y P-Valor para el pH. | 52 |
| Tabla 8 Prueba de normalidad para cloruros. | 53 |
| Tabla 9 Igualdad de varianzas y P-Valor para los cloruros. | 54 |
| Tabla 10 Prueba de normalidad para la turbiedad. | 54 |
| Tabla 11 Igualdad de varianzas y P-Valor para la turbiedad. | 55 |
| Tabla 12 Prueba de normalidad para la conductividad..... | 56 |
| Tabla 13 Igualdad de varianzas y P-Valor para la conductividad. | 56 |
| Tabla 14 Prueba de normalidad para los sólidos totales disueltos..... | 57 |
| Tabla 15 Igualdad de varianzas y P-Valor para los sólidos totales disueltos. | 58 |
| Tabla 16 Prueba de normalidad para la dureza total..... | 58 |
| Tabla 17 Igualdad de varianzas y P-Valor para la dureza total. | 59 |
| Tabla 18 Prueba de normalidad para bacterias coliformes totales..... | 60 |
| Tabla 19 Igualdad de varianzas y P-Valor para las bacterias coliformes totales..... | 61 |
| Tabla 20 Prueba de normalidad para le Echerichia Coli..... | 62 |
| Tabla 21 Igualdad de varianzas y P-Valor para la Echerichia Coli. | 62 |

| | | |
|----------|---|-----|
| Tabla 22 | Prueba de normalidad para bacterias coliformes termotolerantes. | 63 |
| Tabla 23 | Igualdad de varianzas y P-Valor para las bacterias coliformes termotolerantes. | 64 |
| Tabla 24 | Resultados del pH. | 94 |
| Tabla 25 | Resultado de Cloruros..... | 95 |
| Tabla 26 | Resultados de la turbidez. | 96 |
| Tabla 27 | Resultados de la conductividad..... | 97 |
| Tabla 28 | Resultados de los sólidos totales disueltos. | 98 |
| Tabla 29 | Resultado de dureza total. | 99 |
| Tabla 30 | Resultados de Bacterias coliformes totales..... | 100 |
| Tabla 31 | Resultados de Echerichia Coli. | 101 |
| Tabla 32 | Resultados de Bacterias coliformes termotolerantes | 102 |
| Tabla 33 | Fluxes de permeado y rechazo a diferentes presiones. | 103 |
| Tabla 34 | Resultados de parámetros de operación a diferentes presiones | 104 |
| Tabla 35 | Características principales del módulo de ultrafiltración | 105 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Módulo de ultrafiltración..... | 32 |
| Figura 2. Esquema del proceso de un módulo de ultrafiltración. | 33 |
| Figura 3 Relación de la presión y el flujo de permeado | 38 |
| Figura 4 Relación de la presión y el flujo de rechazo | 39 |
| Figura 5. Variación del pH en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración. | 41 |
| Figura 6. Variación del cloruro en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración..... | 42 |
| Figura 7. Variación de la turbiedad en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración. | 43 |
| Figura 8. Variación de la conductividad en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración..... | 44 |
| Figura 9. Variación de los sólidos totales disueltos en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración..... | 45 |
| Figura 10. Variación de la dureza total en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración..... | 46 |
| Figura 11. Variación de bacterias coliformes totales en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración..... | 47 |
| Figura 12. Variación de Echerichia Coli en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración. ... | 48 |
| Figura 13. Variación de Bacterias coliformes termotolerantes en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración..... | 49 |
| Figura 14 Porcentaje de recuperación de agua. | 67 |
| Figura 15 Porcentaje de separación de turbidez | 70 |
| Figura 16. Matriz de consistencia | 88 |
| Figura 17. Materiales utilizados para la construcción de un módulo de ultrafiltración..... | 89 |

| | |
|---|-----|
| Figura 18. Instrumentos usados para la evaluación de parámetros organolépticos y microbiológicos..... | 90 |
| Figura 19. Elección de la prueba estadística..... | 91 |
| Figura 20. Planta de osmosis inversa..... | 91 |
| Figura 21. Tanque de carbón activado..... | 92 |
| Figura 22. Tanque de resina..... | 92 |
| Figura 23. Membrana de osmosis inversa..... | 93 |
| Figura 24. Lámpara ultravioleta..... | 93 |
| Figura 25 Fluxes de permeado y rechazo | 103 |

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general evaluar de los parámetros de operación de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo que proviene de un sistema de osmosis inversa.

Se ha construido un módulo de ultrafiltración a nivel piloto utilizando un tanque de almacenamiento de 250 L, membrana de ultrafiltración en espiral SpiraSep BM-90 de 0,05 μm de porosidad, lámpara de rayos ultravioleta de 235,7 nm de 30 W para asegurar la desinfección microbiológica y evaluado los parámetros de operación como presión, flujo y concentración de agua de rechazo. Así mismo, se ha cuantificado la turbidez, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, cloruros, dureza total, bacterias coliformes totales, *Escherichia coli* y bacterias coliformes termotolerantes en el agua producida.

Los parámetros de operación más adecuados son: la presión de 3 psi, flujo de 5 L/min. Obteniendo agua producto cuyas características físico químicas se encuentren por debajo de los LMP establecidos según D.S 031-2010 SA y la desinfección de los parámetros microbiológicos fueron excelentes, ya que se eliminó el 100% de los microorganismos presentes al inicio del trabajo de investigación.

Palabras clave: Ultrafiltración, osmosis inversa, agua potable

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales.

REFERENCIAS

Rock, C., & Rivera, B. (2014). La Calidad del Agua, E. coli y su Salud. COLLEGE OF AGRICULTURE AND LIFE SCIENCES, 1.

Alegre Lizardi, J. L. (2009). Remoción de micro organismos patógenos utilizando polímeros como mecanismo de ultrafiltración en aguas de origen doméstico. México.

Álvarez Arroyo, R. (2017). Contaminación en redes de distribución de agua potabilizada mediante membranas de ultrafiltración. Granada.

Alventosa de Lara, E. (2015). Ultrafiltración de efluentes de la industria textil. Estudio de los parámetros de operación y mecanismos de ensuciamiento. Valencia.

Amezcuza Fernández, P. (2015). Diseño de un sistema portable de desalinización de agua de supervivencia marina para consumo humano mediante la energía solar fotovoltaica mediante osmosis inversa.

Andrade Cuvi, M. J., Moreno Guerrero, C., Henríquez Bucheli, A., Gómez Gordillo, A., & Concellón, A. (2010). Influencia de la radiación UV como tratamiento postcosecha sobre carambola (Averrocha carambola L.) minimamente procesada almacenada en refrigeración.

Arango Ruíz, A., & Garcés Giraldo, L. F. (2009). Influencia de la conductividad eléctrica en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. Producción + Limpia, 57.

Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Lima.

Borea, L., Nadeo, V., Shalaby, M., Zarra, T., Belgiorno, V., Abdalla, H., & Shaban, A. (2017). Wastewater treatment by membrane ultrafiltration enhanced with ultrasound: Effect of membrane flux and ultrasonic frequency. Elsevier.

Caro Estrada, R. (s.f.). Estudio de aplicación de biorreactores de membranas (MBR) en la depuración de aguas residuales. . Cádiz.

Carrasco Díaz, S. (2009). METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. Lima.

Carreño Martínez, Y. M. (2009). Modelado del proceso de ultrafiltración en un biorreactor de membranas utilizando redes neuronales. Valencia.

Cervantes Anangonó, L. A. (2015). Diseño y construcción de un ablandador de agua mediante el empleo de resinas de intercambio iónico para abastecer los equipos térmicos del laboratorio de termodinámica. Quito.

Chapinal Lázaro, E. (2013). Estudio de sistemas de ultrafiltración en procesos de potabilización y de tratamiento de lixiviados. Valladolid.

Ching-Chung, L. (2015). Coupled precipitation-ultrafiltration for treatment of high fluoride-content wastewater. Taipei: Elsevier.

Conejos Buj, A. M. (2013). Diseño de una planta de ultrafiltración para el tratamiento de aguas residuales de una industria textil . Valencia.

Corbatón Báguena, M. J. (2015). Limpieza de membranas de ultrafiltración aplicadas a industria alimentaria por medio de técnicas no convencionales y caracterización del ensuciamiento de las membranas. Valencia.

Deiana, A. C., Granados, D. L., & Sardella, M. F. (2018). Balance de Masa.

Déniz Quintana, F. (2010). Análisis estadístico de los parámetros DQO, DBO5 y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa. Las Palmas de Gran Canaria.

Escobar Jiménez, J., Muro Urista, C., & Castellanos Estupiñan, J. (2011). Optimización del proceso de ultrafiltración de efluentes de una industria de cereales.

Escobedo P., T., Salas Plata, J., & Muñoz M., G. (2006). Evaluación de los procesos de purificación de una despachadora de agua potable en ciudad Juárez. Juárez.

Espinoza Rodriguez, L. M. (2015). ESTUDIOS DE TRATABILIDAD DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL UTILIZANDO TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS. Colombia.

Firman, L. R., Ochoa, N. A., Marchese, J., & Pagliero, C. L. (2017). Tratamiento de efluentes acuosos provenientes de la industria de biodiesel, utilizando tecnología de membranas. REVISTAMATERIA, 1.

Galloway, M., & Mahoney, J. (2004). Ultrafiltration for seawater reverse osmosis pretreatment. Massachusetts: Elsevier.

Gómez Polanco, E. P., & Martínez Valeriano, V. H. (2013). Estudio de optimización de variables de funcionamiento de un sistema de electrocoagulación para tratar aguas de industria textil. Quito.

Hernández Navarro, M. (2015). Caracterización del ensuciamiento en membranas de ultrafiltración mediante parámetros de medida de resistencia en operación de flujo cruzado. Gran Canaria.

Hernandez Navarro, M. (2015). Caracterización del ensuciamiento en membranas de ultrafiltración mediante parámetros de medida de resistencia en operación de flujo cruzado. Las Palmas de Gran Canaria.

Huang, Y., Du, J., Zhang, Y., Lawless, D., & Feng, X. (2015). Removal of mercury (II) from wastewater by polyvinylamine-enhanced ultrafiltration. Elsevier.

Jiménez Benítez, A. (2012). Estudio en la planta piloto de la aplicación de la tecnología de membranas para el tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas. Valencia.

Lafi, R., Gzara, L., Lajimi, R., & Hafiane, A. (2018). Treatment of textile wastewater by a hybrid ultrafiltration/electrodialysis process. Elsevier.

Li, T., Zhang, W., Zhai, S., Gao, G., Ding, J., Zhang, W., . . . Lv, L. (2018). Efficient removal of nickel(II) from high salinity wastewater by a novel PAA/ZIF-8/PVDF hybrid ultrafiltration membrane. Elsevier.

Lluch, M. (1983). Métodos oficiales de análisis microbiológicos de aguas potables de consumo directo. Madrid.

Lluís Berdonces, J. (2008). La problemática del tratamiento del agua potable.

Londoño Carvajal, A., Giraldo Gomez, G. I., & Gutierrez Gallego, Á. A. (2010). Métodos analíticos para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua. Colombia: Blanecolor Ltda.

Macías Sanchez, A. (2012). Evaluación de procesos de ultrafiltración por membranas como pre-tratamiento de osmosis inversa. Aplicación a aguas salobres como el río Llobregat. Barcelona.

Malmali, M., Askegaard, J., Sardari, K., Eswaranandam, S., Sengupta, A., & Wickramasinghea, R. (2018). Evaluation of ultrafiltration membranes for treating poultry processing wastewater. Elsevier.

Martin Pascual, J. (2014). Estudio tecnico de biorreactores de membrana con lecho móvil aplicados al tratamiento de aguas residuales urbanas. Granada.

MINSA. (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Lima.

Monnot, M., Laborie, S., & Cabassud, C. (2016). Granular activated carbon filtration plus ultrafiltration as a pretreatment to seawater desalination lines: Impact on water quality and UF fouling. Elsevier.

Norma Mexicana, N.-A.-0.-S.-2. (2001). Análisis de agua - determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Organismo Mundial de la Salud. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. Ginebra.

Ortiz Varón, J. E. (2011). Manual de métodos fisicoquímicos básicos para el análisis de agua para consumo humano. Bogotá.

Otero Fernández, A. (2017). Aplicaciones de la nanofiltración para el acondicionamiento del agua potable destinada a la industria farmaceutica y tratamiento de vertidos toxicos conteniendo metales pesados cromo (VI) y plomo (II). Madrid.

Panachlor. (s.f.). Panachlor.com. Obtenido de Panachlor.com: [http://panachlor.com/wp-content/uploads/pdf/Solidos-Disueltos-Totales-\(TDS\)-Electroconductividad-\(EC\).pdf](http://panachlor.com/wp-content/uploads/pdf/Solidos-Disueltos-Totales-(TDS)-Electroconductividad-(EC).pdf)

Pérez Fernández, D. A. (2017). Optimizacion de parametros de operación en procesos de ultrafiltracion para la eliminacion de materia organica en la regeneracion de aguas de proceso de una industria papelera. Valencia.

Petricin, I., Korenak, J., Povodnik, D., & Hélix-Nielsen, C. (2015). A feasibility study of ultrafiltration/reverse osmosis (UF/RO)-based wastewater treatment and reuse in the metal finishing industry. Elsevier.

Qiu, Y., Lee, B., Ruecker, N., Neumann, N., Ashbolt, N., & Pang, X. (2016). A one-step centrifugal ultrafiltration method to concentrate enteric viruses from wastewater. Elsevier.

Rodríguez Zamora, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. Pensamiento Actual, 129.

Rojas Vargas, J. C. (2008). Potabilización de aguas superficiales mediante el proceso de ultrafiltración con membranas arrolladas en espiral. Granada: Editorial de la Universidad de Granada.

Roque, L., Escudero, I., & Benito, J. (2017). Separation of sodium lactate from Span 80 and SDS surfactants by ultrafiltration. Burgos: Elsevier.

Rubio Clemente, A., Chica Arrieta, E. L., & Peñuela Mesa, G. A. (2013). Procesos de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes. Medellín.

Ruvalcaba Sil, J. L. (2013). Métodos Analíticos para la determinación de Metales Pesados. Trillas.

Singh, R. (2014). Membrane technology and engineering for water purification.

Solis, C., Vélez, C., & Ramírez Navas, J. (2017). Tecnología de membranas: Ultrafiltración.

Suares Ramirez, A. M. (2016). Propuesta de dimensionamiento de un sistema de ultrafiltración, para tratar agua permeada almacenada. Bogotá.

Sumisha, Arthanareeswaran, Lukka Thuyavan, Ismail, & Chakraborty. (2015). Treatment of laundry wastewater using polyethersulfone/polyvinylpyrrolidone ultrafiltration membranes. Elsevier.

Tang, S., Zhang, Z., & Zhang, X. (2018). Coupling in-situ ozonation with ferric chloride addition for ceramic ultrafiltration membrane fouling mitigation in wastewater treatment: Quantitative fouling analysis. Elsevier.

Tonato Tualumbo, J. J. (2010). Diseño e implementación de un sistema de control y HMI en la planta de tratamiento de agua de las calderas de vapor para la refinería estatal esmeraldas. Latacunga.

Varela Lopez, A. (Lunes de Septiembre de 2013). T Student Muestras Independientes. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=W6fuVCGGK8I&t=225s>

Vargas, L. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Lima.

Zhang, Y., Wei, S., Hu, Y., & Sun, S. (2018). Membrane technology in wastewater treatment enhanced by functional nanomaterials. Tianjin: Elsevier.